OFPPT

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail

DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

VERSION EXPERIMENTALE

RESUME THEORIQUE

&

GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES

MODULE 14

CONNAISSANCES SUR LA MECANIQUE DES SOLS

SECTEUR : ***BTP***

SPECIALITE : ***CHEF DE CHANTIER TRAVAUX PUBLICS***

NIVEAU : ***TECHNICIEN***

(APC) Juin.2007

www.dimaista.com

REMERCIEMENTS

La DRIF remercie les personnes qui ont contribué à l'élaboration du présent document.

Pour la supervision :

M. Khalid BAROUTI — Chef projet BTP
Mme Najat IGGOUT — Directeur du CDC BTP
M. Abdelaziz EL ADAOUI — Chef de Pôle CDC /BTP

Pour la conception :

Mr KRISTOV KOLEV — Formateur à ISTA MAAMORA KENITRA

Mr LAHLAFI MOHAMMED — Formateur ISTA MAAMORA KENITRA

Pour la validation :

Mme GUNINA Fatna — Formatrice animatrice au CDC /BTP

Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce programme.

DRIF

SOMMAIRE :

Présentation du module

Résumé de théorie

I. Caractéristiques physiques structure et classification des sols

1) Généralités et définitions
2) Processus géologique de formation des sols
3) Les différentes phases constitutives d'un sol
4) Les caractéristiques physiques et leur mesure

II. Connaissances générales sur les limites d'ATTERBURG

1) limite de liquidité
2) Limite de plasticité
3) limite de retrait
4) Indice de plasticité

III. classification des sols

1) La classification du laboratoire des pont et chaussée
   - Sols a granulométrie uniforme
   - Sols a granulométrie non uniforme

IV. Guide des travaux pratiques

1) TP 1 détermination de la limite de liquidité
2) TP 2 détermination de la limite de plasticité
3) TP 3 détermination de la limite de retrait

MODULE 14 : CONNAISSANCE SUR LA MECANIQUE DES SOLS

Durée : 60 heures

OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT

COMPORTEMENT ATTENDU

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit **savoir déterminer le type des sols et les caractéristiques demander par les bureaux d'études béton armé** , selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent.

CONDITIONS D'EVALUATION

- Individuellement
- A partir des questions de cours
- A partir des exercices notés

CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE

- Connaître les types des sols
- Respecter les normes fixer par le laboratoire des pont et chaussée
- utilisation correcte des matériels du laboratoire
- savoir faire les calculs nécessaires pour le laboratoire mécanique des sols

OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT	
PRECISIONS SUR LE COMPORTEMENT ATTENDU	**CRITERES PARTICULIERS DE PERFORMANCE**
Détermination des types de sol	□ Mode d'emploi par sondage □ Mode d'emploi fixer par le laboratoire mécanique des sols
Détermination des limites d'ATTERBERG	□ Détermination de la limite de liquidité □ Détermination de la limite de plasticité □ Détermination de la limite de retrait

OBJECTIFS OPERATIONNELS DE SECOND NIVEAU

Le stagiaire doit maîtriser les savoirs, savoir-faire, savoir-percevoir ou savoir-être jugés préalables aux apprentissages directement requis pour l'atteinte de l'objectif de premier niveau, tels que :

Avant d'apprendre à déterminer les limites d'ATTERBERG :

1. Connaître les types des sols
2. Connaître les différentes caractéristiques des sols
3. Apprendre le mode d'emploi des laboratoires de mécanique des sols

PRESENTATION DU MODULE

- le module dont l'intitulé est la connaissance de base de la mécanique des sols
- Il est situé dans la première partie du programme.
- Il est composée de 02 parties comme suit :

  - Connaissances générales sur les types des sols
  - Détermination des limites d'ATTERBERG

- A l'issu de ce module, les stagiaires auront acquis des connaissances techniques de base sur les types des sols et de savoir déterminer les limites d'ATTERBERG
- La durée de ce module est de 60 heures.

MODULE, 14 :

CONNAISSANCES SUR LA MECANIQUE DES SOLS

RESUME DE THEORIE

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES STRUCTURE ET CLASSIFICATION DES SOLS

I. GENERALITES ET DIFINITIONS :

Le terme de sol correspond à une notion premi re, intuitive. Mais si l'on se penche de plus près sur le problème de la définition du matériau sol on constate qu'il on existe plusieurs suivant que l'on s'int resse à un problme gologique de pdologie (tude des sols en agronomie) ou de géologie.

Du point de vue du géologicien, on peut définir un sol comme faisant partie des roches meuble ou plastiques, ou encore comme étant une formation géologique superficielle résultant de l'alternation des roches de l' corce terrestre. Les sols entrent en général dans la catégorie des roches s dimentaires à l'exception des cendres ou projection volcaniques.

La difficulté essentielle d'une telle dfinition rside dans le fait qu'elle n' tablit aucune distinction trs nette entre un sol et une roche, et qu'il existe certains matriaux telle que les marnes compactes, que l'on peut classer soit parmi les roches,soit parmi les sols

De manire simple, on peut dire qu'un sol sch et plong dans l'eau, se d sagr ge relativement vite, alors qu'une roche reste intacte.

Dans de nombreux projets, les sols sont encore trop souvent désignés par des expressions imprécises du type : argile sableux, ou sable argileux, sans autre commentaire, alors que de tels matériaux peuvent présenter des propretés mécaniques extrêmement diff rents, la n cessites s'est donc fait sentir d'tudier les caract ristiques physiques des sols, de manière à aboutir une classification géologique rationnelle, éliminant ces imprécisions de langage.

II. PROCESSUS GEOLOGIQUE DE FORMATION DES SOLS :

On vient de voir les sols sont le r sultat de l'alt ration des roches constitutives de la crote terrestre (roches mres). L' tude de ces phénomènes relève de la géodynamique externe étudiée dans le cours de géologie de P.ANTOINE tome 1 .nous bornons ici ç rappeler l'essentiel.

L'alt ration de la roche mre peut tre le r sultat :

- D'une dgradation mcanique due à divers facteurs : variation thermiques (gel dégel - échauffement)
- D'un processus chimique :
  - ✓ Oxydation (air ou d'eau de pluie) donnant en général une teinte rouille (sels ferriques)
  - ✓ Réduction (eaux stagnantes) donnant une teinte bleutée ou verdâtre (sels ferreux)

- ✓ Hydratation
- ✓ Dissolution
- ✓ Hydrolyse

 D'un processus biologique, produisant à la fois une action mcanique et une action Chimique (racines, décomposition de végétaux, bactéries).

L' tude de la gense des sols permet d'autre part de distinguer trois catgories :

Les sols autochtones :

Qui rsultent directement de l'alt ration du substratum rocheux qu'ils recouvrent. Exemple typique : arène granitique ou gore (sable argileux grossier)

Les sols résiduels :

Très répands, résultant de dégradation de la roche sous jacente et de roches ayant plus ou moins disparu par suite d'une dcomposition intrieure. Ces sols pr sentent donc une parenté totale avec le substratum actuel. Ce sont essentiellement des sols à dominante argileuse. Exemple : argile à silex du bassin parisien.

Les sols transportés :

Très répandus. Le transport peut résulter de différents processus :

 Transport, limite dans l'espace, de formations r siduelles par glissement ou écoulement visqueux : colluvions de pente.

 Transport du glaciers actuels ou disparus : mora ines (argiles à blocaux).

 Transport par le vent : loess, limon et sables éoliens.

 Transport par les cours d'eau : dépôts alluviaux fluviaux (très hétérogènes) lacustres ou marins (homogènes).

La connaissance du processus géologique de formation des sols n'est pas sans intr t pour le gotechnicien. C'est ainsi que les argiles glaciaires, qui on subit lors des glaciations quaternaires les contraintes importantes dues au poids des glaciers aujourd'hui disparus, auront un comportement mécanique très différent de celui des argiles molles de mexico, dont la structure très lâche résulte du dépôt dans un lac profond (actuellement comblé) de particules de cendres volcaniques fines amenes, soit par le vent, soit par les cours d'eau affluentes

III. LES DIFFERENTES PHAS ES CONSTITUTIVES D'UN SOL :

Un sol est un élément de trois phases : la phase solide composée de grains dont l'ensemble constitue le squelette du sol, la phase liquide repr sente par l'eau remplissant partiellement les vides existant entre les particules, et la phase gazeuse constituée en général par un mlange d'air et de la vapeur d'eau qui occupe les vides restants.

A. Phase gazeuse généralement

Lorsque le sol est sec, le gaz contenu dans les vides est généralement de l'air, mais le plus souvent il s'agit d'un mélange d'air et de vapeur d'eau, car les sols en place sont le plus souvent humides. Lorsque tous les vides sont remplis d'eau, la phase gazeuse est inexistante, le sol est doc saturés.

En pratique, dans nos r gions temprs, des nappes d'eau souterrains appelées nappes phréatiques baignent les sols en place Leur niveau supérieur se situe en général à quelques mètre de la surface. La plupart des sols à quelques mètres sont saturés

L'étude du comportement des sols non sautés est très complexe et en est encore à ses dbuts. L'lment gazeux joue cependant un rôle trs important en pratique, en particulier dans le compactage des sols.

Dans la suite des cous, sauf indication contraire, nous bornons à considérer le cas des sols saturés.

B. Phase liquide :

On distingue diff rentes catgories d'eau dont l'importance est plus ou moins grande suivant la grosseur des grains du sol.

L'eau libre :

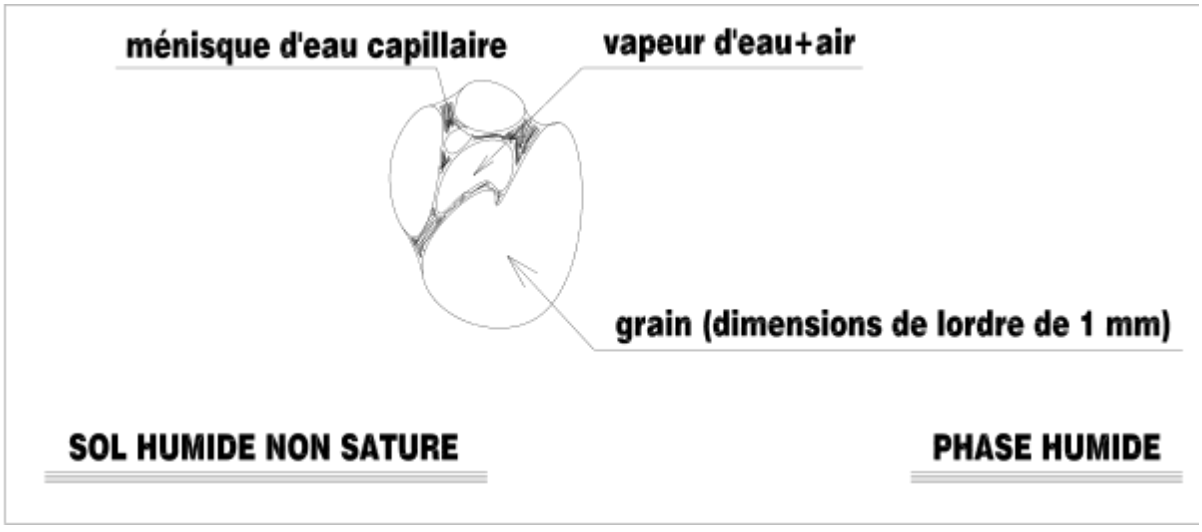
Qui peut circuler entre les grains. Elle s'évapore complètement lorsque le sol est porté à une température légèrement supérieure à 100 C°. C'est l'eau libre qui constitue les nappes phréatiques.

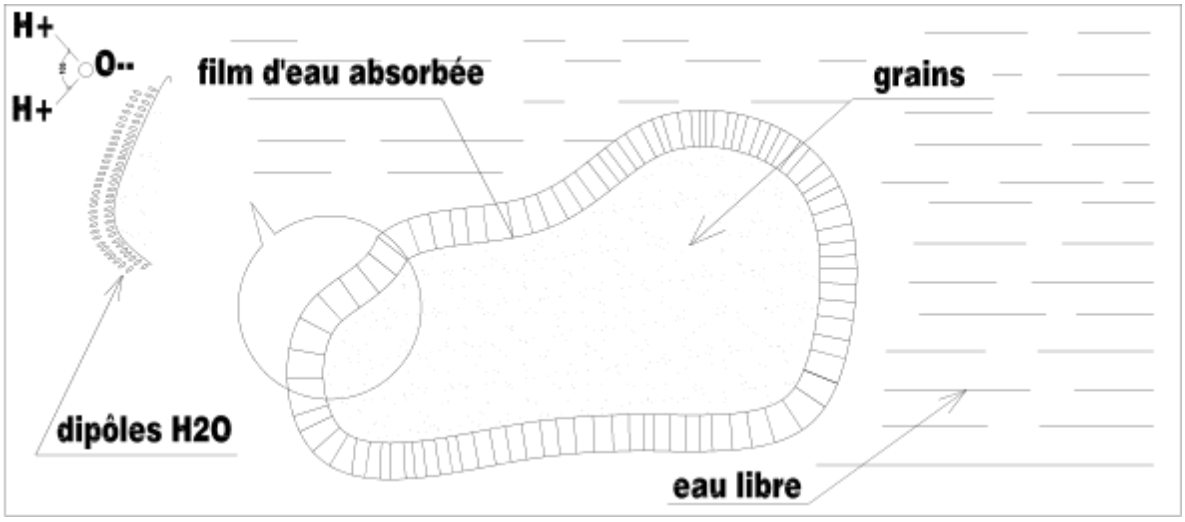
L'eau capillaire :

Ce type de l'eau est retenu sous forme de mnisque au voisinage des points de contact entre les grains par des forces capillaires, créant entre ces derniers des forces d'attraction. Dans le cas de sols non saturés, et disparaît dans les mêmes conditions de température que l'eau libre.

L'eau absorbée :

Que l'on rencontre dans les sols très fins (diamètre moyen < 2µm). Due au problème d'absorption de l'eau par la phase solide, elle consiste d'adsorption de l'eau forme de couches orientées de dipôles H_2O. Ses proprits sont trs diff rentes de celles de l'eau libre. Elle n'est pas mobile, pr sente une importance viscosit qui lui conf re des proprits intermédiaires entre celles d'un solide et celles d'un liquide. Elle ne peut tre vacue qu'à température élevée (vers 300° C).





Cette coquille d'eau absorbe joue le rôle de lubrifiant entre les grains, et a une influence importante sur les propriétés mécaniques des sols fins.

C. **Phase solide :**

Lorsque le sol résulte de la dsagr gation mcanique d'une roche, les grains du sol sont constitués de mêmes minéraux que la roche mère. En général des dimensions supérieures à 2 µ, et une forme relativement arrondie, constituant un squelette dans lequel les vides occupent un volume plus faible que les grains.

Lorsque le sol rsulte d'un processus chimique qui s'est superpos à une dsagrgation mcanique, les particules du sol n'ont plus la mme structure cristalline que la roche mère, et ont des dimensions inférieures à 2 µ. Les sols ainsi formés sont appelés argiles.

Nous reviendrons plus loin sur le dtail de leur structure à l' chelle mol culaire.

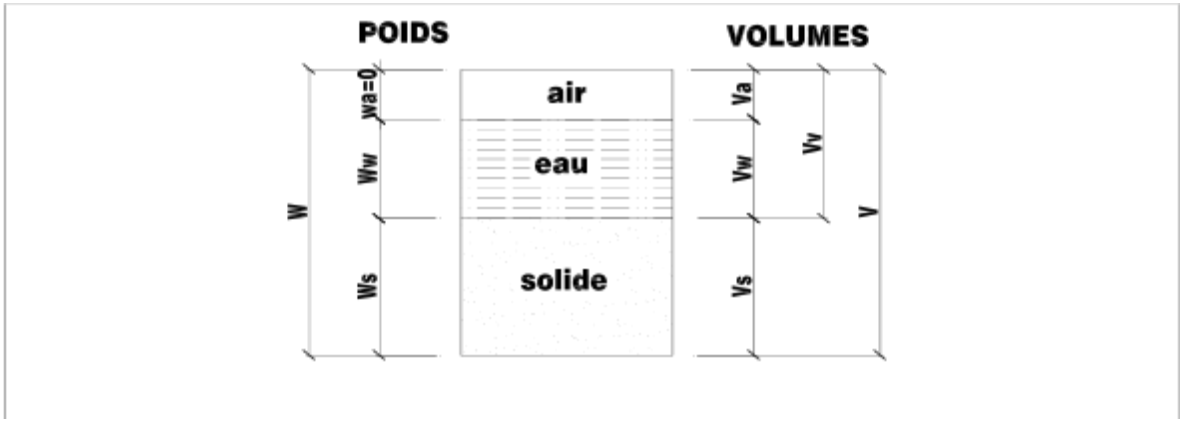
Les particules argileuses sont caractérisés par :

Une dimension très faible (diamètre moyen <1 µ).

Une forme aplatie (feuilles ou paillettes).

D'importantes forces d'attraction de nature physico-chimiques entre les particules.

Ces particules constituent un squelette dans lequel les vides peuvent parfois occuper un volume bien supérieur à celui des grains (structure alvéolaire ou château de cartes).

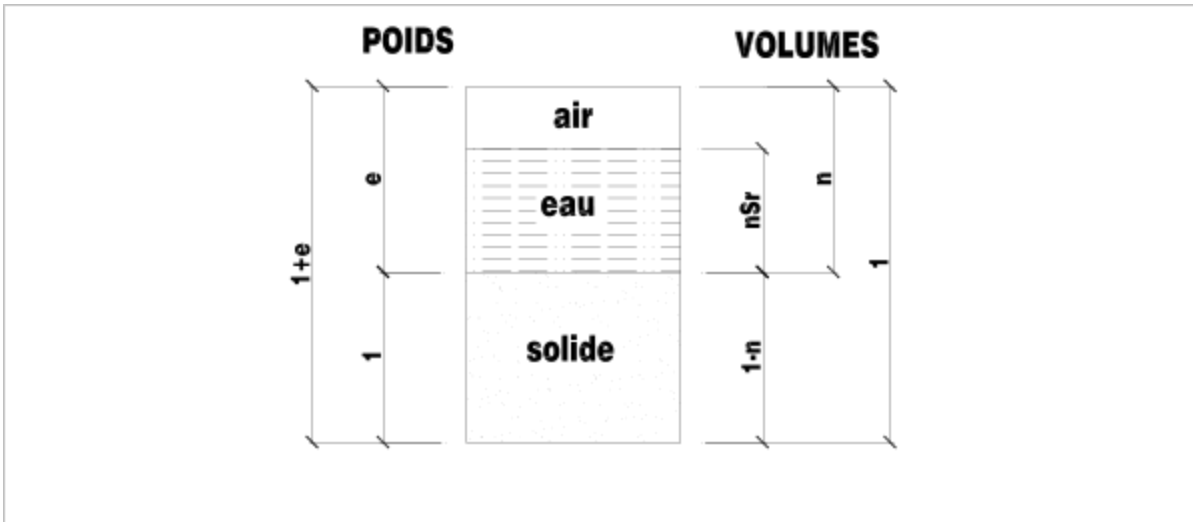


Le squelette d'un sol peut galement tre constitu de particules de mati res organiques de formes et de dimensions très variables. La touche est un exemple de sol organique végétale à structure fibreuse. Les vases sont des argiles organiques en formation contenant divers types de bactéries et des matières organiques en voie de décomposition.

IV. LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET LEUR MESURE :

A. Paramètres dimensionnels :

Dans la plupart des questions on utilisera les poids volumique. En se reportant à la repr sentation conventionnelle classique d'un volume V de sol dans lequel les trois phases seraient séparées, on définit successivement :



= w / v.

- γ_{sat} poids volumique satur (lorsque l'eau occupe la totalit des vides).
- γ_d poids volumique sec $\gamma_d = w_s / v$.
- γ_s poids volumique des grains solides $\gamma_s = w_s / v_s$.

- γ_w poids volumique de l'eau $\gamma_w = W_w / v_w$
- γ' poids volumique déjaugé (lorsque le sol est entièrement immergé)

Quand il ne peut y avoir confusion, on utilise quelquefois la notion γ au lieu de γh, γat ou γd.

L'utilisation des poids volumiques γ au lieu des masses volumiques ρ, permet d'éviter l'introduction de l'acc lration de la pesanteur g ($\gamma = \rho g$).

B. Paramètres sans dimensions :

Ce sont des paramètres très importants et essentiellement variables pour un sol donné. Ils indiquent dans quelles proportions se trouvent les différentes phases du sol, et caractérisent l'tat dans lequel se trouve le squelette du sol (tat de compactibilité lâche ou serrée). On définira successivement en se reportant à la figure.

On rencontrera parfois la notion de densit d'un sol par rapport à l'eau. La notion à utiliser sera alors par exemple $\gamma d / \gamma w$ pour la densit sche. Bien qu'il s'agisse d'un paramtre sans dimension, nous ne l'incluons pas dans le paragraphe, et, en principe, nous n'utiliserons pas cette notion.

L'indice des vides e :

Rapport du volume des vides au volume des grains solid es.

$E = Vv / Vs$

L'indice des vides d'un sol peut tre suprieur à 1 (cas extrme des argiles de mexico : e > 13).

La porosité n :

Rapport du volume des vides au volume total du sol.

$N = Vv / V$

La porosit d'un sol est toujours infrieure à 1.

La teneure en eau :

Rapport du poids des grains solides pour un volume donné de sol. Dans cette définition on convient de prendre en compte l'eau qui s'est vapore aprs un schage du sol dans une tuve à 105° C. jusqu'à poids constant de l'chantillon. On l'exprime en pourcentage.

$W = Ww / Ws \times 100\ \%$

La teneur en eau d'un sol peut dpasser 100 %.

Le degré de saturation :

Rapport du volume de l'eau au volume des vides. L indique dans quelle proportion les vides sont remplis par l'eau. il s'exprime également en pourcentage.

$Sr = Vw / Vv \times 100\ \%$.

Relation entre les paramètres :

Les paramètres que l'on vient de définir ne sont par indépendants. Il est courant que l'on ait besoin de calculer certains d'entre eux a partir de la mesure des autre. Les relations les plus importantes sont les suivantes :

N = e / (1+e).

W = e.Sr. γw / γs.

E = n / (1-n).

Pour les sols satur s e = w x γs / γw.

γh = (1+w) x γs / (1+r) = (1-n) γs + Sr.n.γw

γd = γs (1-n) = γs / (1+e).

Pour les sols satur s γsat = γd + nγw)

Γ' = (γs γw) (1-n) = (γs γw) x γd / γs.

Pour établir ces relations, il est pratique d'étudier la représentation schématique conventionnelle du sol rencontrée plus haut

Importance des paramètres sans dimensions :

Nous verrons, au paragraphe suivant, l'on peut sparer les sols en deux grandes familles :

Les sols grenus ou pulvérulentes dont le type est le sable, et dont les grains sont libres de se mouvoir les uns par rapport aux autres (le sable coule entre les doigts).

Les sols fins ou cohérents dont le type est argile, qui présentent de la cohésion.

Les sols grenus ont un comportement mécanique qui dépend presque uniquement de leur état de compacité (lâche ou serré), alors que les sols fins ont un comportement qui dépend en premier lieu de leur teneur en eau.

On voit donc que parmi tous les paramètres définis précédemment, ce sont les paramètres sans dimensions qui sont es plus importants.

Comme le poids volumique des grains solides (hormis le ca s des particules organiques) varie dans des limites assez faibles :

26 KN / m3

On peut le considérer pratiquement comme constant (on prend en général γs = 2.65 KN / m3), et connaissant le poids volumique de l'eau consid ré aussi comme constant (γw = 10 KN / m3), il en résulte que les paramètres variables et indépendants d'un sol se réduisent à deux :

L'indice des vides : e

La teneur en eau : w

N.B pour donner une meilleure idée de l'état de compacité d'un sol grenu, on définit également un nouveau paramètre sans dimensions, l'indice de densité ou densité relative :

I_d = (e_{max} -e) / (e_{max} e_{min}).

E_{max} et e_{min} sont les deux états de compacité extrêmes que l'on peut obtenir expérimentalement pour un sol donné. Ils sont détermines par des essais de laboratoire strictement normalisés.

L'eau capillaire confre aux sols pulvrulents humides une lgre cohsion. C'est elle qui rend possible la construction des châteaux de sable par les enfants.

Pour un sol lâche : Id est voisin de 0

Pour un sol serré : Id est voisin de 1

On notera par ailleurs que dans le cas des sables, on a toujours :

$0.40 \leq e \leq 1$

Le tableau suivant donne les caractéristiques de différents sols en place.

sol	Période ou étage géologique	γs (KN/m3)	e	n	Teneur en eau naturelle	γh (KN/m3)	Teneur en matière organique	Teneur en CaCO3
Sable de fontainebleau	Stampien	27.0	0.75	0.43	6%	16.3	===	===
limon d'Orly	quaternaire	26.2	0.6	0.38	23%	19.3	===	===
Limon de la perche	Crétacé supérieur	26.7	1.4	0.58	50%	===	===	===
Argile verte de Romainville	Sa sannoisien (oligocène)	26.7	0.80	0.44	30%	19.7	===	0.2
Argile des Flandres	Ypresien (éocène)	27.4	1.01	0.50	35%	18.5	===	0.2
Argile de Dozulé	Callovo-oxfordien	26.6	0.50	0.33	19%	21.2	===	===
Vase de pallavas	quaternaire	26.3	1.73	0.63	66%	16.2	5%	===
Tourbe de Bourgoin	quaternaire	===	9	0.90	580%	===	55%	===
Argile de mexico	Origine volcanique	===	3.38 à 13.50	0.77 à 0.93	===	===	===	===

Mesures de laboratoire :

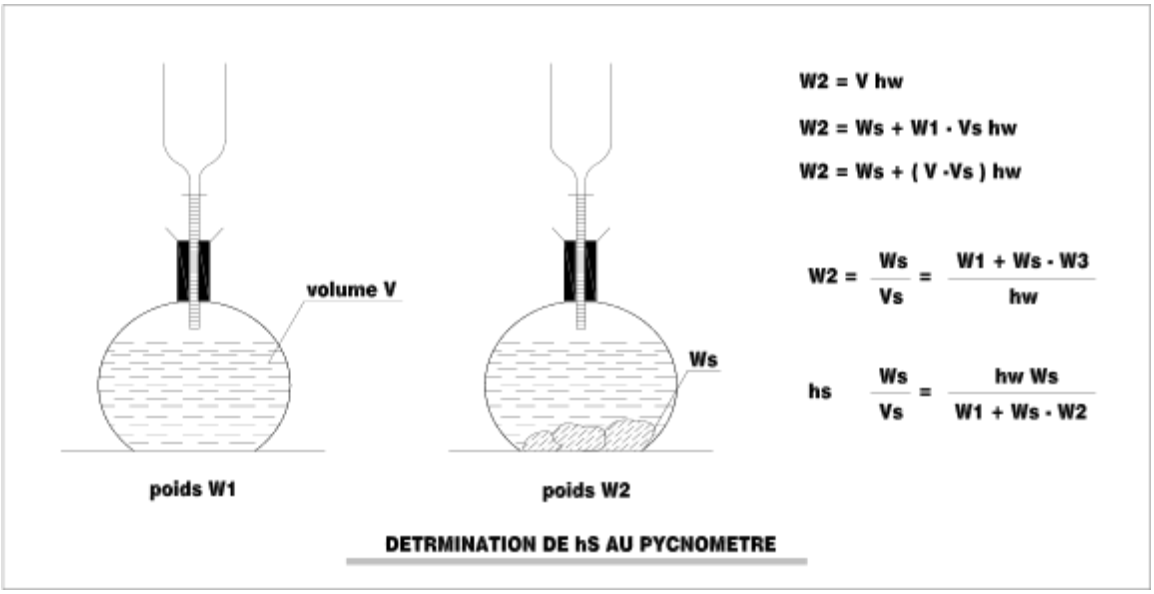
D'après ce que l'on vient de voir, il suffit de déterminer les valeurs des trois paramètres indépendants γs, e et w, ou l'on tire ensuite les autres caractéristiques à l'aide des relations précédentes.

Compte tenu de la disposition inévitable, due notamment à l'hétérogénéité du matériau, on prendra la moyenne de plusieurs essais. Les mesures se font en général au laboratoire.

Détermination du poids volumique des grains solides γs :

Cette mesure se fait à l'aide d'un pycnomètre. Un poids connu de sol Ws, sèche par passage à l'étuve à 105° C jusqu'a poids constant (w = 0) est introduit dans un flacon (pycnomètre) contenant de l'eau distille. On en déduit par pes e le volume d'eau déplacée par le sol Vs. L'ou l'on tire :

Γs = Ws / Vs.



DETRMINATION DE hS AU PYCNOMETRE

On a vu que l'on obtient en général 26 KN / m3 < γs < 28 KN / m3.

Toutefois, si le sol a une teneur élevée en matières organique on peut obtenir des valeurs plus faibles pour γs exemple vase de Martrou γs = 18 KN / m3.

Détermination de la teneur en eau :

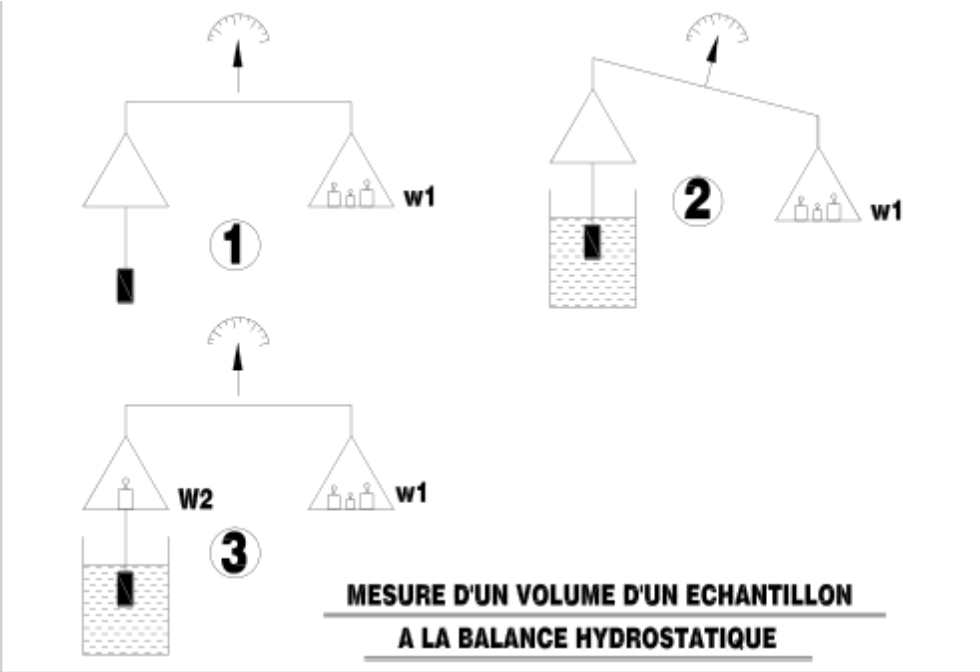
Elle se fait par deux peses. L'une à la teneur en eau naturelle qui donne le poids W de l'chantillon humide, l'autre à tat sec aprs passage à l' tuve à 105° C. jusqu'à poids constant qui donne le poids sec Wd de l'chantillon.

On en tire W = (w-wd) / wd.

Détermination de l'indice des vides e :

C'est une mesure d licate. Elle ncessite la dtermination du poids du poids Ws du sol sch à l'tuve, et du volume total V de l'chantillon. Ce dernier se d termine gn ralement en mesurant la longueur d'une carotte de diamètre connu (diamètre du carottier). On peut aussi opérer par déplacement de liquide à la balance hydrostatique après avoir paraffine l'chantillon.

On en tire : e = [V / (Wd / γs)] -1.



MESURE D'UN VOLUME D'UN ECHANTILLON
A LA BALANCE HYDROSTATIQUE

V. STRUCTURES DES SOLS :

A. Granulométrie d'un sol

Le squelette solide d'un sol est form de particules de dimensions trs variables pouvant aller de la dizaine de cm au micro. Le but de l'analyse granulom trique est de d terminer la distribution de ces particules en mesurant par pes e l'importance relative de classes grains de dimensions bien définies. Ces différentes classes portent les dénominations suivantes :

Ø moy des grains	200 mm	20 mm	2 mm	0.02 mm	20 µ	0.02 mm / 2 µ
désigniation :	cailloux	graves ou graviers	gros sable	sable fin	limon	argile

DENOMINATION DES CLASSES DES GRAINS

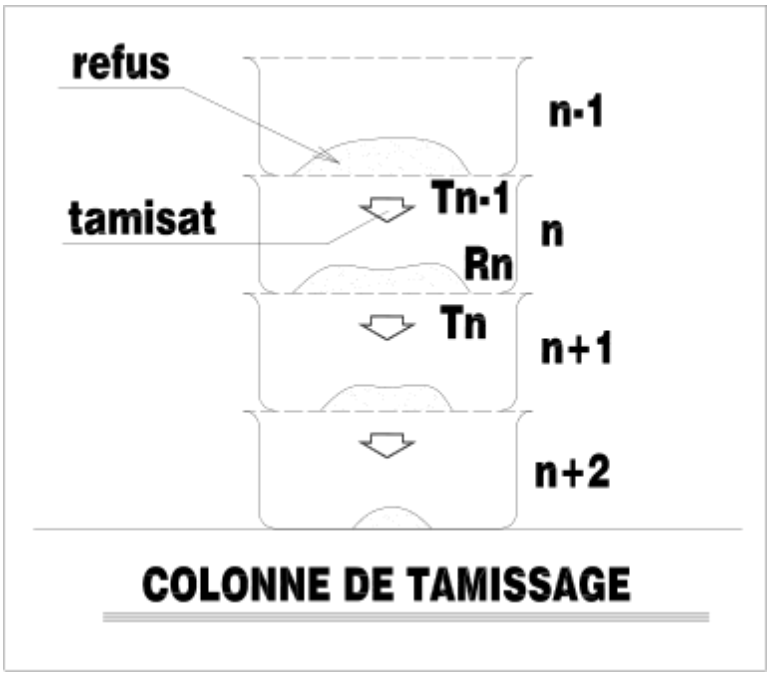
On procède expérimentalement par tamisage pour les éléments de diamètre moyen > 100µ et par sédimentométrie pour les éléments fins est importante. Le tamisage se fait sous un courant d'eau (voie humide). Sinon, il peut s'effectuer par voie sèche.

Tamisage

L'essai de tamisage se fait à l'aide d'une colonne de tamis soumise à des vibrations. L'essai est normalisé. La quantité de matériau retenue par un tamis s'appelle le refus, la quantit de matériau qui passe au travers d'un tamis s'appelle le tamisât.

En désignant par Rj les refus, Ti les tamisâts, on a au nième tamis d'une colonne de tamisage :

Tn 1 = Rn + Tn



Sédimentométrie

Pour les particules inférieures a 100µ les forces de surface inter particulaires sont trop importantes (apparition de la cohésion), et les grains tendent à s'agglom rer. On proc de par sédimentométrie, méthode bas e sur l'application de la loi de stockes phnomne de décantation des grains de sol dans une solution déf loculante.

La loi de stockes donne la vitesse limite d'une particule sphérique descendant sous l'action de la pesanteur dans un milieu visqueux.
Cette vitesse est proportionnelle au carré du diamètre de la particule, les particules les plus grosses se déposent plus rapidement.

On a : v =(γs γo) d2 / 18 η

η étant la viscosit dynamique de l'eau à la temp rature de l'exprience (η = 1 centpoise à 20°).

γo le poids volumique du liquide (eau + défloculant)

On procède expérimentalement en mesurant la densité de la soldifférents niveaux en fonction du temps à l'aide d'un densimètre. En introduisant la notion de diamètre équivalent dy (les particules n'étant en réalité pas sphériques, mais plutôt aplaties) on peut calculer à partir des mesures de densité, le pourcentage y en poids de sol sec, des particules de dimensions inférieures ou égales à dy.

B. Limites d'ATTERBERG :

Afin de préciser les trois états de consistance des sols fins : états liquide, plastique, et solide, le suédois ATTERBERG a proposer au début du siècle de définir trois limites exprimées par des teneurs en eau (en %). Les limites de liquide WL de plasticité Wp et de retrait Ws.

Indiquons successivement les tests auxquels on se réfère pour définir ces limites, tels qu'ils ont été précisés par CASAGRANDE.

Nous renvoyons pour plus de détails aux manipulations de géotechnique routière, et au cours de routes.

Limite de liquidité WL :

Elle sépare l'état liquide de l'état plastique. Elle se détermine comme suite : on étant sur une coupelle une couche d'argile que l'on divise en deux à l'aide d'un instrument en forme de. On imprime à la coupelle des secousses égales en intensité, suivant un rythme normalisé. A la limite de liquidité, la rainure en V doit être refermée sur une longueur de centimètre après vingt cinq secousses.

Limite de plasticité WP :

Elle sépare l'état plastique de l'état solide. Elle correspond à la teneur en eau minimum pour laquelle on peut rouler le sol en rouleaux de trois millimètre de diamètre et de deux centimètre de longueur sans qu'ils se rompent.

Limite de retrait WS :

Elle sépare l'état solide sans retrait dans lequel l'eau absorbée est encore en place, de l'état solide avec retrait ou l'eau absorbée a disparu. C'est la teneur en eau juste suffisante pour remplir les pores du sol lorsque celui-ci atteint par séchage son minimum de volume. Elle se détermine peu fréquemment.

Indice de plasticité IP :

C'est la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticit d'un sol

IP = WL WP

La notion de plasticité est très importante en géotechnique, en particulier en en géotechnique routière.

CASAGRANDE a montré sur les sols américains qu'il existait une relation de forme :

IP = aWL b.

Pour les sols français a = 0.70 et b = 9

Précision et porté des essais d'ATTERBERG

On peut considérer que l'erreur sur la limite de liquidit est de l'ordre de 0.5 % pour un laboratoire exercé. Celle sur la limite plasticité être estimée à 2 %.

Malgré leur définition très arbitraire, et le caractère un peu simpliste du processus expérimental, les résultas présentent grande fidélité, et les essais d'ATTERBERG constituent des essais d'identification et de classification fort utiles pour l'ingénieur.

SKEMPTON a montré que l'indice de plasticité est en relation a peu près linière avec le pourcentage en poids des grains inférieurs à 2µ (teneur en argile).

Or, ce sont ces éléments fins qui sont dangereux pour la construction en raison de la présence d'eau absorbée. Le rapport de ces deux pourcentages est appel activit colloïdale de l'argile. une argile inactive a une activité < 0.75.aa

Une argile normale a une activité comprise entre 0.75 et 1.25.

Une argile active a une activité > 1.25.

On se méfiera tout particulièrement des argiles qui ont un double caractère de plasticité et d'activité.

On notera enfin que dans les sols en place la teneur en eau naturelle W généralement comprise entre WL et WP très près de WP.

Le tableau suivant donne les caractéristiques de quelques sols fins et typiques.

sol	WL	WP	IP	Teneur en eau naturelle	Activité
Limon d'Orly	32	18	14	23	****
Limon plastique du perche	75	48	27	50	****
Argile verte de Romainville	65	30	35	30	0.49
Argile des landes	82	34	48	35	0.80
Argile de Dozulé	48	21	27	19	0.47
Argile bleue de boston	42	22	20	40	****
Argile de Londres	76	29	47	29	****
Tour bure de Bourgoin	66	37	29	55	****
Vase de pallavas	70	30	40	66	****

VI. CLASSIFICATION DES SOLS

A. Intérêt d'une classification

Un système de classification utilisant les résultats d'essais facilement exécutables et peu onéreux est d'un grand intérêt pour l'ingénieur dans tous les problèmes courants de mécanique des sols.

Bien qu'il existe de nombreux systèmes de classification présentant chacun leurs avantages et leurs inconvénients. Et pouvant regrouper différemment certains types de sols, l'intérêt d'une classification est en supprimant les désignations imprécises et ambiguës de donner une première idée du comportement mécanique du sol étudié elle permet ainsi d'éveiller l'attention de l'ingénieur au stade des études préliminaires ou les avant-projets et d' utiliser ensuite judiciairement les crédits affectes a la reconnaissance de cause le type le nombre et l'emplacement des essais plus complexes de laboratoire ou in situ qui seront ensuite exécutés.

Enfin dans le cas des ouvrages ou l'expérience pratique s'impose encore sur le calcul (choix des structures en géotechnique routière par exemple)

L'utilisation d'une classification est indispensable.

On définit également l'indice de liquidit :

IL = (W WP) / (WL WP) = (W WP) / IP.

Pour une argile donne, plus cet indice est grand, plus l'argile voisine de l'état liquide, donc plus elle est dangereuse. On notera que si W> WL, ce qui arrive parfois, IL est supérieur à 1.

B. La classification LPC : laboratoire des ponts et chaussées :

Nous nous bornerons à étudier la classification LPC couramment utilisée en France. Cette classification utilise les résultats fournis par la granulométrie et les limites d'ATTERBERG, ainsi quelques essais complémentaires qui seront vu au chapitre suivant

Sols à granulométrie uniforme

Lorsque les dimensions des grains sont peu différentes, on adopte la classification déjà donnée

Sols pulvérulents $d_{moy} > 20$ µ (cailloux; Graves gros; sable; sable fin)

Sols cohérents $d_{moy} < 20$ µ (limon, argile)

En fait les limons ne se différencient des argiles que par les valeurs des limites d'ATTERBERG comme indiqué ci-après.

Sols a granulométrie non uniforme

Sols grenus dont 50 % des éléments en poids ont un diamètre > 80 µ.

Sols fins dont 50 % des éléments en poids en un diamètre > 80 µ.

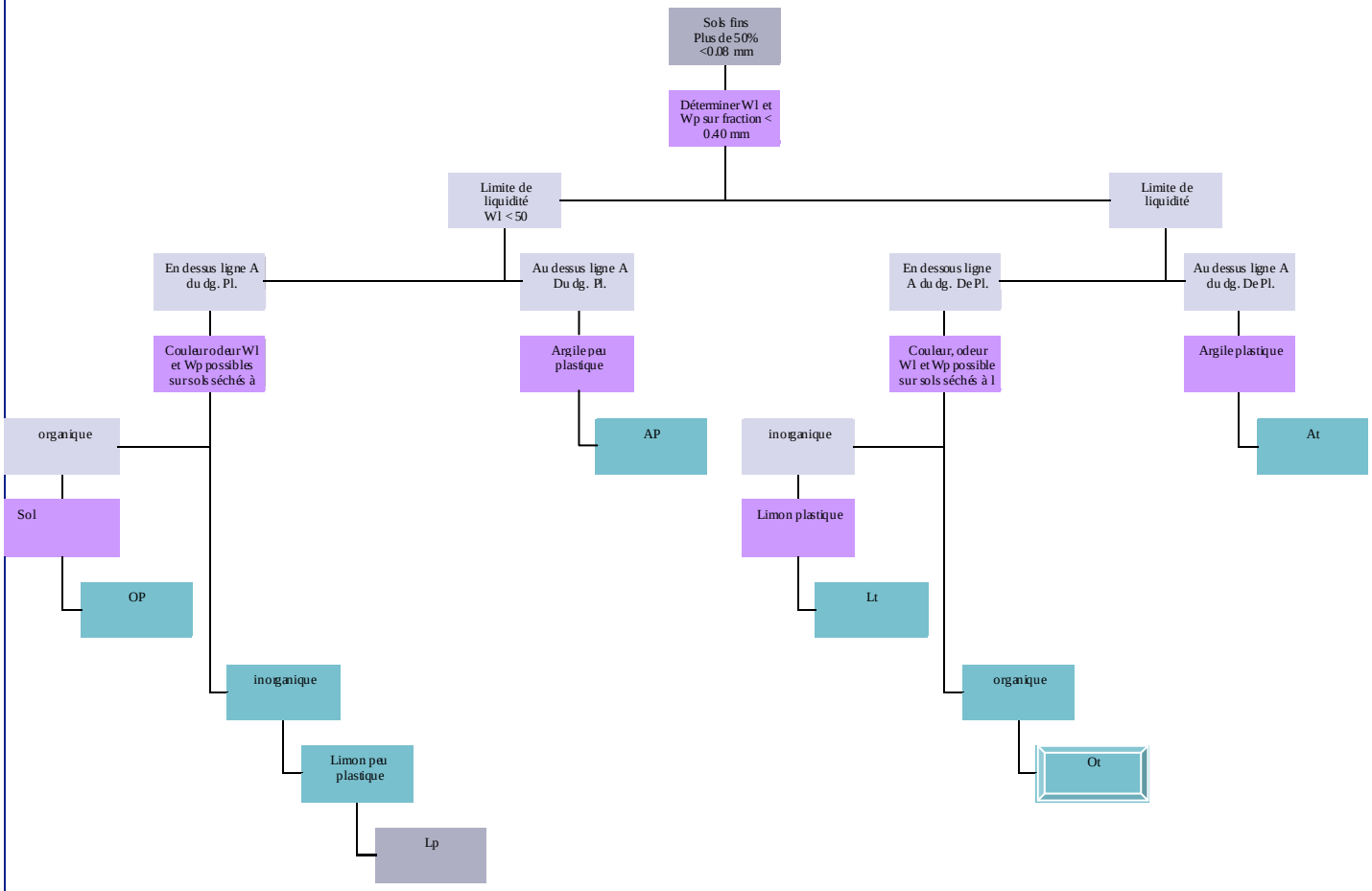
Sols organiques dont la teneur en matière organique est élevée.

Elle utilise les résultats des essais d'ATTERBERG par intermédiaire de l'abaque de plasticité de CASAGRANDE

La classification LPC est résumé dans les tableaux suivants :

CALSSIFICATION DES SOLS GRENUS				
définitions			sym	conditions	Appellations
graves	+ 50 % : D >2mm	+ 12 % : <0.08 mm	Gb GW	Cu = D60 / D10 > 4 Et Cc = (D30)² / (D10 x D60) compris entre 1 et 3	Grave propre Bien graduée
			Gm Gp	Une des conditions de Gb Non satisfaire	Grave propre Mal graduée
		-5 % < 0.08 mm <12	GL GM	Limite d'ATTERBERG au-dessous de A	Grave limoneuse
			GA GC	Limite d'ATTERBERG au-dessus de A	Grave argileuse

CALSSIFICATION DES SOLS GRENUS				
définitions			sym	conditions	Appellations
sables	+ 50 % : D < 2mm	-5 % < 0.08 mm <12	Sb SW	Cu = D60 / D10 > 6 Et Cc = (D30)² / (D10 x D60) compris entre 1 et 3	Sable propre Bien gradué
			Sm Sp	Une des conditions de Sb Non satisfaire	sable propre Mal gradué
		-5 % < 0.08 mm <12	SL SM	Limite d'ATTERBERG au-dessous de A	Sable limoneux
			SA SC	Limite d'ATTERBERG au-dessus de A	Sable argileux
Lorsque 5 % < % inférieur à 0.08 mm <12 on utilise un double symbole					



VII. PROCEDURE D'IDENTIFICATION ET ESSAIS COMPLEMENTAIRES :

A. Procédure courante d'identification :

Nous ne parlons pas ici des cas d'échantillons qui sortent du cadre de ce cours, mais qu'il ne faut pas cependant négliger. Nous renvoyons pour cela aux modes opératoires du LPC.

L'identification commencera toujours par une observation pr alable de l'échantillon : (couleur, odeur, présence de etc...).

On passera ensuite à la détermination de la granulométrie, des paramètres physiques de l'échantillon : teneur en eau W, indice des vides e (par mesure directe ou à l'aide d'une balance hydrostatique). On pourra également déterminer les autres caractéristiques physiques, γs (au pycnomètre), teneur en débris végétaux, etc...

On procédera ensuite à l'identification granulométrique :

Par tamisage à sec s'il y a peu d'éléments fins (< 10 %).

Par voie humide (cas où il y a des éléments fins).

On comptera l'essai par tamisage sous l'eau) dans le cas sur la fraction inférieure à 100 µ.

En précisant la nature du floculant et la sédimentométrie .

On en tirera bien le mode de dispersion et la :

Le c fficient d'uniformit de HAZEN : Cu = d60 / d10

Eventuellement le c fficient de courbure : Cc = (d30)² / (d10 x d60).

Le diamètre efficace d10.

Le pourcentage des éléments inférieurs à 2 µ (teneur en argile) par rapport au poids total du mortier (éléments <0.40mm) .

On terminera en déterminant sur le mortier les limites de liquidité et de plasticit , d'o l'on déduira Ip , et on reportera le résultat sur l' abaque de plasticité de CASAGRANDE.

On pourra également en déduire l'activité du mortier.

Dans les cas courants, à l'aide des tableaux précédents, il n'y aura pas d'ambiguïté et l'identification sera terminée.

Dans certains cas cependant, on sera amène à exécuter des essais complémentaires que nous allons maintenant étudier.

B. Essai d'équivalent de sable :

Cet essai est plus particulièrement utilisé en géotechnique routière.

Il est surtout important dans le cas des sols grenus, car il permet d'évaluer la quantité d'éléments fins contenus dans ces sols et dont la présence en quantité notable peut modifier profondément le comportement mécanique.

L'essai est effectue sur la traction du matériau dont les éléments sont inferieursà5mm.

L'échantillon est place dans une éprouvette avec une solution normalisée contenant un agent dispersant .L'éprouvette est ensuite agitée mécaniquement suivant un processus normalise.

On laisse ensuite reposer l'ensemble. Il se forme très rapidement au fond de l'éprouvette un dépôt solide grossier surmonte d'un dépôt de floculat de sol fin. Au bout d'un temps fixe par la norme, les hauteurs h1et h2 du dépôt solide et du floculat sont mesurées.

L'équivalent de sable ES s'exprime par le pourcentage :

ES =(h1 / h2) x 100.

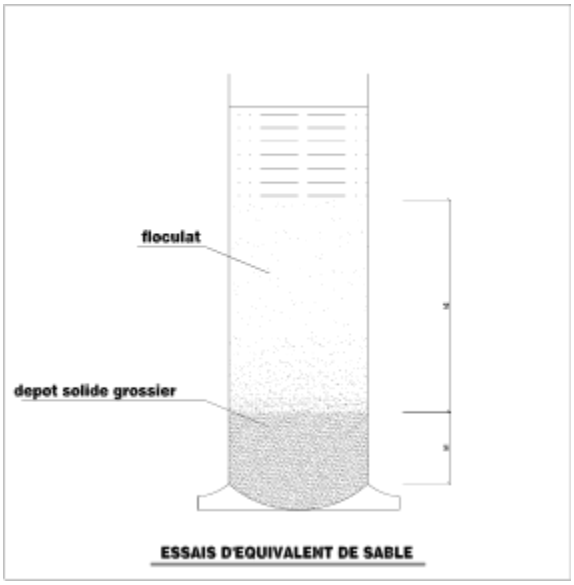
Essai d'équivalent de sable :

On a donc théoriquement :

ES = 0 argile pure
ES = 20 sol plastique
ES = 40 sol non plastique
ES = 100 sable pur et propre

En pratique, cet essai n'est réalisé que sur des sols grenus pour lesquels la détermination des limites d'ATTERBERG est difficile et imprécise. On a donc en général :

ES >30.



Évaluation de fin de module :
Définir les caractéristiques physiques pour les différents types de sols
Citer les limites d'ATTERBERG
bareme de notation
10/20
10/20
Liste des références bibliographiques :

Liste des références bibliographiques

Ouvrage	Auteur	Edition

NB : Outre les ouvrages, la liste peut comporter toutes autres ressources jugées utiles (Sites Internet, Catalogues constructeurs, Cassettes, CD,)